昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，July 2002，45（Suppl.）：132－133 ISSN 0454-6296

秃病蚤蒙冀亚种与长爪沙鼠密度的状态空间模型

李仲来[1]，余根坚[2]，陈 德[3]
（1.北京师范大学数学系，北京 100875；2.福州大学数学系，福州市 350002；3.内蒙古包头市地方病防治办公室，包头 014010）

摘要：给出了一个描述秃病蚤蒙冀亚种 *Nosopsyllus laeviceps kuzenkovi* 与长爪沙鼠 *Meriones unguiculatus* 密度的状态空间模型，模型为 $x_{t+1} = -0.336x_t + 0.057y_t + 0.107z_t$，$y_{t+1} = 0.586x_t - 0.369y_t - 0.274z_t$，$z_{t+1} = 0.189x_t + 0.247y_t - 0.309z_t$，其中 x_t，y_t 和 z_t 分别为 t 月份的沙鼠密度，巢秃病蚤和体秃病蚤指数。结果表明，模型能够较好地描述野外秃病蚤蒙冀亚种与长爪沙鼠间的关系，并发现沙鼠密度显著地影响巢秃病蚤指数。

关键词：秃病蚤蒙冀亚种；长爪沙鼠；巢蚤指数；体蚤指数；种群密度；状态空间模型
中图分类号：O212.4，Q958.1，Q968.9 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296（2002）S0-0132-02

Statespace model between *Nosopsyllus laeviceps kuzenkovi* and population of *Meriones unguiculatus*

LI Zhong-Lai[1]，YU Gen-Jian[2]，CHEN De[3]（1. Department of Mathematics，Beijing Normal University，Beijing 100875，China；2. Department of Mathematics，Fuzhou University，Fuzhou 350002，China；3. Baotou City Office of Endemic Disease Control and Research，Baotou 014010，China）

Abstract: This paper established a statespace simulation model of the monthly fluctuation patterns between the *Nosopsyllus laeviceps kuzenkovi* and *Meriones unguiculatus*. It consisted of the following formulas: $x_{t+1} = -0.336x_t + 0.057y_t + 0.107z_t$，$y_{t+1} = 0.586x_t - 0.369y_t - 0.274z_t$，$z_{t+1} = 0.189x_t + 0.247y_t - 0.309z_t$，where x_t is the population density of *M. unguiculatus*，y_t and z_t are respectively related to the burrow nest and the body flea index of *N. l. kuzenkovi* at t month. The simulation results exhibited satisfactory agreement with field data. The population density of *M. unguiculatus* was the main factor affecting the burrow nest flea index of *N. l. kuzenkovi*.

Key words: *Nosopsyllus laeviceps kuzenkovi*；*Meriones unguiculatus*；rat burrow nest flea index；rat body flea index；population density；statespace model

宿主关系是蚤类最重要的生物学特征之一。有关长爪沙鼠 *Meriones unguiculatus*（简称沙鼠）与蚤类数量动态的描述，已有不同年度沙鼠与体蚤数量的关系[1]，本文作者对在不同月份沙鼠密度与巢蚤和体蚤指数的关系进行研究。

1 材料与方法

样地及调查方法同文献［2］。由于 1983 年 12 月未作调查，取 1983 年 11 月和 1984 年 1 月的平均值代替，以保证资料的连续性。分别利用状态空间模型，建立沙鼠密度与其巢和体秃病蚤蒙冀亚种 *Nosopsyllus laeviceps kuzenkovi*（简称秃病蚤）指数的相互关系模型。计算用 SAS（Statistical analysis system）软件完成。

2 结果与讨论

在内蒙古土默特平原 1983～1985 年的逐月监测资料中，共获蚤 4 科 7 属 11 种，其中在巢蚤、体蚤和洞干蚤中，秃病蚤依次占 66.3%、74.4% 和 77.8%，即秃病蚤在 3 种蚤指数中是优势蚤种；而巢蚤、体蚤和洞干蚤平均指数分别为 6.110、0.237 和 0.009，比例为巢蚤：体蚤：洞干蚤≈679：26：1。由于洞干蚤中的秃病蚤在 3 种蚤指数中所占比例太小，故仅考虑巢蚤和体蚤中的秃病蚤与沙鼠密度的

基金项目：国家自然科学基金资助项目（39570638）
第一作者简介：李仲来，男，1953 年 8 月生，汉族，北京延庆县人，教授；研究方向：数学生态学，数学流行病学，教育心理统计学
收稿日期 Received：1999-09-07；接受日期 Accepted：1999-11-25

状态空间模型。

一般地说，寄生蚤与其宿主的数量关系基本上成正比[3]。在文献[2]的相关分析中，沙鼠密度与巢蚤指数、沙鼠密度与体蚤指数均不相关（$P > 0.10$），原因在于按月调查的沙鼠密度及巢蚤和体蚤指数均为非平稳的时间序列，应采用与动态和时间序列有关的方法研究其关系。因数据波动较大，将其取对数后压缩起伏量，再经过差分处理使之化为平稳的时间序列，然后利用状态空间过程分析三元时间序列，从而建立状态空间模型。该过程适用于有动态相互关系的多种相关时间序列，可给出比每个序列独立建模更好的拟合。

多元稳定时间序列建模状态空间方法是 Akaike 给出：任一个预报空间维数有限的多元稳定时间序列都能化为状态空间形式。特别地，任一个自回归滑动平均模型均有一个状态空间表示法；反之，任一个状态空间过程也能表示为一个自回归滑动平均模型形式。

经计算，巢秃病蚤 y_t 和体秃病蚤z_t 与沙鼠密度 x_t 的状态空间模型为

$$x_{t+1} = -0.336x_t + 0.057y_t + 0.107z_t \qquad (1)$$

$$y_{t+1} = 0.586x_t - 0.369y_t - 0.274z_t \qquad (2)$$

$$z_{t+1} = 0.189x_t + 0.247y_t - 0.309z_t \qquad (3)$$

模型(1)表明沙鼠密度 x_{t+1} 主要受前一时刻的密度 x_t 制约，其原因是沙鼠密度受食物的影响，而沙鼠密度的增加将会加剧食物的短缺，从而影响下一时刻的沙鼠密度。从模型看，作用系数为 -0.336，其负号解释为抑制作用。另外，秃病蚤指数的增减对沙鼠密度的影响均比较小，这在模型中也有所反映：巢和体秃病蚤对沙鼠密度的作用仅为 0.057 和 0.107，这与通常想法一致，沙鼠密度影响巢和体蚤指数，反过来则影响较小。

模型（2）表明：① 巢秃病蚤指数 y_{t+1} 主要受前一时刻的沙鼠密度 x_t 的限制，其作用系数为 0.586，且在（1）~（3）中的 9 个系数中居最大。据野外调查结果，当宿主数量增多时，其活动范围往往重叠，互相窜洞，使各洞内蚤有较多机会接触交配，其繁殖机会增多。另外，蚤吸血的机会较少，对巢秃病蚤数量也有一定影响。这一点，即由于宿主数量的变化而引起寄生蚤数量变化，与马立名等关于其它鼠类与其寄生蚤关系的研究结论一致[4~6]。② 巢秃病蚤指数 y_{t+1} 受前一时刻巢秃病蚤 y_t 和体秃病蚤 z_t 的制约，作用系数分别为 -0.369 和 -0.274。比较(2)式的系数，仅考虑其绝对值，t 时刻的沙鼠密度对 $t+1$ 时刻巢秃病蚤指数 y_{t+1} 的影响近似等于 t 时刻的巢秃病蚤指数与体秃病蚤指数系数的和对巢秃病蚤指数 y_{t+1} 的影响。

模型(3)表明：体秃病蚤指数 z_{t+1} 受前一时刻沙鼠密度 x_t 和巢秃病蚤y_t 的影响且系数为正，受体秃病蚤 z_t 的制约为负，即体秃病蚤指数随着前一时刻沙鼠密度和巢秃病蚤指数的增高而上升，但受前一时刻体秃病蚤指数约束。

参 考 文 献 （References）

[1] Li Z L, Zhang W R, Ma L M. Analysis on the relations among flea index, population of *Meriones unguiculatus* and meteorological factors. Acta Entomol. Sin., 1995, 38 (4): 442 – 447. [李仲来，张万荣，马立名. 蚤数量与宿主数量和气象因子的关系. 昆虫学报，1995，38（4）：442 – 447]

[2] Li Z L, Chen D. Studies on relationships among parasitic flea index of *Meriones unguiculatus* and meteorological factors. *Acta Entomol. Sin.*, 1999, 42 (3): 284 – 290. [李仲来，陈德. 长爪沙鼠寄生蚤指数和气象因子关系的研究. 昆虫学报，1999，42（3）：284 – 290]

[3] Liu Z Y ed. Siphonatera, Series Insecta, Fauna Sinica. Beijing: Sci. Press, 1986. 65 – 67. [柳支英主编. 中国动物志：昆虫纲：蚤目. 北京：科学出版社，1986. 65 – 67]

[4] Ma L M. Abundance of fleas in relation to population fluctuations of their hosts. Acta Entomol. Sin., 1988, 31 (1): 50 – 54. [马立名. 蚤数量与宿主数量关系. 昆虫学报，1988，31（1）：50 – 54]

[5] Li S B. Correlation and regression analysis on population of *Spermophilus dauricus*, fleaindex and non-mouse area. *Chin. J. Contr. Endem. Dise.*, 1989, 4 (Supp.): 44 – 46. [李书宝. 黄鼠数量与蚤指数及无鼠面积的相关回归分析. 中国地方病防治杂志，1989，4（增刊）：44 – 46]

[6] Li Z L, Wang C G, Ma L M. The relationship among population of *Spermophilus dauricus*, meteorological factors and flea index. *Chin. J Vector Biol. Control*, 1993, 4 (4): 282 – 283. [李仲来，王成贵，马立名. 达乌尔黄鼠密度和气象因子与蚤指数的关系. 中国媒介生物学及控制杂志，1993，4（4）：282 – 283]